

明細書

レーダ装置

技術分野

5 この発明は、レーダ装置に係るものであり、特にレーダを用いて目標物が存在する方向を測定する技術に関するものである。

背景技術

一般にレーダシステムでは、受信信号が検出可能となるピームの指向方向を求める10ことによって、目標の存在方向を取得することができる。目標の方向を計測する精度は、ピーム幅が狭くなるほど向上する。しかし、レーダの送信波長を一定にしてピーム幅を狭くしようとすると、より大きな開口径を有するアンテナが必要となる。そこで、計測精度がピーム幅に依存する方法に替えて、わずかに異なるピーム方向を有する複数のピームから得られた受信信号間の振幅や位相の差異などの情報を用いて、目標の方向を計測する方法が従来から用いられている。このような方法によれば、ピーム幅から決定される計測精度よりも高い角度分解能を達成できる。

このような方法の例としては、シーケンシャルローピング方式(sequential-lobing)、モノパルス方式(monopulse)が公知である。これらの方法では、まず複数のピーム方向から互いに隣接した2つの方向のピームを選択し、これら2つのピームから観測された受信信号の振幅や位相の間の差（ Δ 信号と呼ばれる）と和（ Σ 信号）を求める。次に、 Δ 信号と Σ 信号との比を算出する。この比を Δ/Σ 値と呼ぶこととすれば、 Δ/Σ 値は目標の角度と一意に対応するので、 Δ/Σ 値から目標の方向を推定することができる。この方法の問題点は、目標の個数が複数である場合に正確に方向を算出することができないという点である。

しかしながら、これらの方法では、目標の個数は1に制限される。すなわち、同一のピーム内に複数の目標が存在する場合は正確に方向を算出することができないという問題がある。例えば、図17に示すように、アンテナ100から方向101～10

5 に対して放射されるビーム（方向101と102、方向102と103、方向103と104、方向104と105はそれぞれ隣接しているものとし、さらに各方向のビームをビーム101～105と呼ぶこととする）を用いて目標110の方向を推定するレーダーシステムを考えてみると、互いに隣接しているビーム1とビーム2、ビーム2とビーム3、ビーム3とビーム4、ビーム4とビーム5のそれぞれの組み合わせからは、真の目標の有無に関わらず、何らかの角度値が算出されることになる。図18に示した矢印111、112、113、114は、図17のビーム101～105から得られる受信信号間の差異に基づいて算出した角度値の方向（像）の例である。図において、方向111はビーム101と102との組み合わせから求められたものであり、方向112はビーム102と103との組み合わせから求められたものである。また、方向113はビーム103と104との組み合わせから求められたものであり、方向114はビーム104と105との組み合わせから求められたものである。方向113と方向114は、ビーム103～105による送信波を目標110に照射して反射された受信波と相関があるが、方向111と方向112は目標110と相関がなく、真の目標に対応しない偽像(false image)である。

ここで、目標が一つだけの場合、受信信号の振幅や電力に基づいて偽像を棄却することもできるが、目標が複数となると、ビームの組み合わせで得られる方向と目標との相関が複雑になり、単純な閾値による棄却では対応できない。

複数の目標の方向を計測する一つの方法として、I. Ziskind and M. Wax, 20 "Maximum likelihood localization of multiple sources by alternating projection," IEEE Transaction on Acoustics Speech and Signal Processing, vol.36, no.10, pp.1553-1560, Oct. 1988 などに開示されている最尤推定法（Maximum likelihood localization）がある。この手法によれば、複数の目標がビーム内に存在していても方向の分離が可能であるが、この方法では、多くの演算量を必要とし、そのため高い演算性能の信号処理装置を要求する。特に目標数が多くなると、演算量が増大することになる。

以上のように、シーケンシャルローピング方式、モノパルス方式では、複数目標の方向を分離することができず、また最尤推定法では複数目標の方向を分離することは可能となるが、演算負荷が高いという問題があった。

この発明は、ビームを複数組み合わせて目標の方向を算出する既存の手法の有する
5 上記のような問題を解決することを目的とするものである。

発明の開示

この発明に係るレーダ装置は、複数の方向にビームを放射するとともに、目標により反射された前記ビームを受信波として受信するアンテナと、

10 前記アンテナが受信した受信波に検波処理を施して受信信号を出力する受信器と、
前記受信器が出力した受信信号から前記受信波の特徴量を抽出する信号検出器と、
前記複数の方向に放射されたビームのうち、一部が重なり合う少なくとも2つのビームの受信波より前記信号検出器が算出した特徴量の組み合わせから、前記目標の方向である1次方向を算出する方向算出器とを備えるレーダ装置において、

15 前記方向算出器が算出した1次方向が複数存在する場合に、複数の前記1次方向の分布が所定の密度以上となる領域からその領域に属する1次方向に基づいて真の目標の方向である統合方向を算出する方向統合器を備えたものである。

20 このように、このレーダ装置では、1次方向の分布密度が一定値以上となる領域のそれぞれから真の目標の方向を抽出するようにした。これにより、複数個の目標が存在する場合であっても、それぞれの目標の方向を分離できるのである。

図面の簡単な説明

図1はこの発明の実施の形態1によるレーダ装置の構成を示すブロック図、

図2はこの発明の実施の形態1によるレーダ装置の信号処理器の詳細な構成を示す

25 ブロック図、

図3はこの発明の実施の形態1によるレーダ装置の信号処理器の動作を示すフロー

チャート、

図4はこの発明の実施の形態1によるレーダ装置のビームと目標との関係を説明するための図、

5 図5はこの発明の実施の形態1によるレーダ装置のビームと1次方向との関係を説明するための図、

図6はこの発明の実施の形態1におけるクラスタ形成処理のフローチャート、

図7はこの発明の実施の形態2によるレーダ装置の構成を示すブロック図、

図8はこの発明の実施の形態2によるレーダ装置の信号処理器の詳細な構成を示すブロック図、

10 図9はこの発明の実施の形態2のレーダ装置における周波数解析を説明するための図、

図10はこの発明の実施の形態3によるレーダ装置の構成を示すブロック図、

図11はこの発明の実施の形態3によるレーダ装置の信号処理器の詳細な構成を示すブロック図、

15 図12はこの発明の実施の形態3のレーダ装置における送受切替器の動作タイミングチャート、

図13はこの発明の実施の形態4のレーダ装置が自動車に搭載された状態を示す図、

図14はこの発明の実施の形態4によるレーダ装置の構成を示すブロック図、

20 図15はこの発明の実施の形態4によるレーダ装置の信号処理器の詳細な構成を示すブロック図、

図16はこの発明の実施の形態4のレーダ装置におけるモデルフィッティング処理器の動作を示すフローチャート、

図17は従来の技術におけるビームパターンと目標との関係を示す図、

25 図18は従来の技術におけるビームパターンとそれにより算出された方向との関係を示す図、

である。

発明を実施するための最良の形態

実施の形態 1.

図1は、この発明の実施の形態1によるレーダ装置の構成を示したブロック図である。図において、レーダ装置1はシーケンシャルローピング方式によるパルスレーダ装置であって、基準信号発生器2、送信器3、アンテナ4-a及び4-b、受信器7、信号処理器8を有している。基準信号発生器2は、局部発信器（ローカルオシレータ）によって周波数が一定である微弱な基準信号を発生する部位である。なお、この説明および以下の説明において、部位とは専用の回路又は素子を指すものとする。ただし場合によっては、汎用的な機能を有する中央演算装置を搭載したコンピュータに、コンピュータプログラムを通じて相当の処理を実行させるような構成を探っていてよい。

送信器3は増幅器とパルス変調器から構成されており、増幅器によって基準信号発生器2が発生した基準信号を増幅し、さらにパルス変調器によって基準信号からパルス波を発生する部位である。アンテナ4-aは送信器3が発生したパルス波を所定の方向にビームとして放射するアンテナである。ビーム5-aはアンテナ4-aにより放射されるビームである。目標6はレーダ装置1の外部に存在し、レーダ装置1の測定対象となっている物体である。電波5-bは、ビーム5-aの一部が目標6により反射されて生じた電波である。アンテナ4-bはビーム5-bを受信するアンテナである。受信器7はアンテナ4-bが受信した受信波に対して検波処理をして、受信信号を出力する部位である。信号処理器8は、受信器7が出力した受信信号に対して信号処理を施し、目標6が存在する方向を算出する部位である。アンテナ駆動器9は、アンテナ4-a及び4-bの方向を機械的あるいは電子的に制御する部位であって、アンテナ4-a及び4-bは同じ方向を向くようにアンテナ駆動器9によって制御されるようになっている。

図2は、信号処理器6の詳細な構成を示すブロック図である。図において、信号検

出器 1 1 は、入力された信号から振幅などの信号特徴量を求める部位である。また Δ/Σ 測角器 1 2 は、信号検出器 1 1 が求めた特徴量の Δ/Σ 値を求め、 Δ/Σ 値から各ビームに基づく目標の方向を算出する。なお、以降の説明において、 Δ/Σ 測角器 1 2 が算出する目標の方向を、1 次方向と呼ぶこととする。クラスタ分離器 1 3 は、
5 Δ/Σ 測角器 1 2 が出力した 1 次方向が集中的に分布している角度範囲を、クラスタとして抽出する部位である。1 次方向が集中的に分布している角度範囲が複数ある場合は、複数の角度範囲においてクラスタを形成するようになっている。分布中心算出器 1 4 は、クラスタ分離器 1 3 が形成したクラスタのそれぞれにおいて、1 次方向の分布中心を求めて、クラスタ毎に真の目標の方向を算出する部位である。ここで「分布中心」とは、1 次方向が所定の分布密度存在する領域に属する単数または複数の 1 次方向を統計的に処理して得られる値をいうものとする。また、以降の説明において、
10 真の目標の方向を「統合方向」と呼ぶこととする。

なお、 Δ/Σ 測角器 1 2 は、方向算出器の例であり、またクラスタ分離器 1 3 と分布中心算出器 1 4 は方向統合器の例である。

15 次に、レーダ装置 1 の動作について説明する。まず基準信号発生器 2 は微弱な基準信号を発生し、その微弱信号に基づいて、送信器 3 はパルス送信波を発生する。アンテナ 4-a は、このパルス送信波をビーム 5-a として放射する。前述の通り、アンテナ 4-a 及び 4-b は、アンテナ駆動器 9 の制御によって機械的または電子的にビームを放射又は受信する方向を切り替えるようになっている。これによって、アンテナ 4-a はビームの一部が重なるように複数の方向に向けられて、それぞれの方向に向かって順次 2 個以上のアンテナビームを放射する。

各々の時間においてアンテナ 4-a から放射されたビーム 5-a は、目標 6 に反射され、その一部がアンテナ 4-b に受信波として受信される。アンテナ 1 に受信された受信波は、受信器 7 に出力され、アナログ信号からデジタル信号に変換され (A
25 /D 変換)、その変換結果が受信信号として信号処理器 8 に出力される。レーダ装置 1 はシーケンシャルローピング方式によるパルスレーダ装置であるから、異なる時間に

において放射されたアンテナビームを組み合わせることによって、信号処理器8を用いて目標6の方向を算出するのである。

(Δ/Σ 値から角度を算出する方法)

図3は、信号処理器6の処理を示したフローチャートである。ステップS101において、信号処理器6の信号検出器11によって入力信号の特徴量が検出された後、
 5 Δ/Σ 測角器12は入力信号の特徴量の Δ/Σ 値を求め、さらに1次方向を算出する。
 Δ/Σ 値の例としては、入力信号の振幅を特徴量とし、複数のビームパターンにおける振幅を比較して得る Δ/Σ 値（振幅比較方式）と、入力信号の位相を特徴量とし、複数のビームパターンにおける位相を比較して得る Δ/Σ 値などがあり、いずれの Δ/Σ 値を用いても目標の方向の算出を行うことが可能である。たとえば、振幅比較方式ならば、隣接する2つのビームについての受信信号において、目標の方向に起因する誤差電圧 ε は、これら両ビームの受信信号の振幅の差（ Δ ）を振幅の和（ Σ ）で除した値で表される。すなわち $\varepsilon = \Delta/\Sigma$ の関係が成立する。

そして、アンテナ4-a及び4-bの正面方向を θ_a とすれば、目標の方向を θ_0 は

$$\theta_0 = \theta_a + f(\varepsilon) \quad (1)$$

で与えられる。これによって、目標の1次方向を算出することができる。なお、式(1)において、関数 f は、誤差電圧 ε と、目標方向の θ_a からのずれの量との関係を表す関数である。

20 次にステップS102において、クラスタ分離器13は、 Δ/Σ 測角器12によって算出された1次方向の分布に基づいてクラスタを形成する。図4と図5は、真の目標と Δ/Σ 測角器12によって算出される1次方向、そしてクラスタ分離器13によって形成されるクラスタとの関係を概念的に示す図である。図4は、真の目標35と36からなる複数の目標が存在している場合に、アンテナ4-a及び4-bによるビーム走査を用いて真の目標35と36の存在する方向を算出する場合を示している。図に示すように、アンテナ1はビームパターン41～47を放射するが、ビームパ

ーン41と42、42と43、43と44、44と45、45と46、46と47はそれぞれ一部が重なっている。

5 続いて図5は、ビームパターン41～47を用いて真の目標35と36が存在する方向を1次方向として算出した結果を示す図である。図において、1次方向51はビームパターン42と43に基づいて、△／Σ測角器12が算出した1次方向である。同様にして、1次方向52はビームパターン43と44に基づいて算出されたものであり、1次方向53はビームパターン44と45に基づいて算出されたものである。さらに、1次方向54はビームパターン45と46に基づいて算出されたものであり、1次方向55はビームパターン46と47に基づいて算出されたものである。

10 図6から明らかになることは、以下の通りである。

(1) ビームパターンの組み合わせのそれぞれから、1つずつの1次方向が算出されている。

(2) 例えば1次方向51と52のように、ある真の目標を対象とする1次方向が複数算出されていたとしても、それらの1次方向は異なる値となりうる。

15 (3) ビームパターン44と45から算出された1次方向53のように、場合によつては、真の目標が存在しない方向であるにも関わらず、あたかも何らかの目標が存在するかのように1次方向を算出してしまう。このように真の目標が存在しないにも関わらず、算出されてしまう1次方向を「偽像に対する1次方向」(あるいは単に、「偽像に対する方向」と呼ぶ。

20 そこで、特に(2)の問題を解決するために、クラスタ分離器13は1次方向をクラスタリングする。さらに中心分布算出器14では、クラスタ分離器13が形成したクラスタのそれぞれから真の目標に対する方向を算出し、さらに偽像に対する方向を排除する。

(クラスタ形成処理の詳細)

25 図6は、ステップS102におけるクラスタ形成処理の詳細なフローチャートである。これらの処理はクラスタ分離器13によって実行されるものである。図のステッ

5 プS 1 1 1において、カウンタ変数Nの初期値として1を設定する。このカウンタ変数は、 Δ/Σ 測角器1 2が算出した複数の1次方向のうちの一つを指し示すために用いられるものである。次にステップS 1 1 2において、変数EにN番目の1次方向を代入する。この処理の前提として、 Δ/Σ 測角器1 2が算出した複数の1次方向は一定の順序で配列されているものとし、先頭からの順番によって一意にいずれかの1次方向が定まるものとする。すなわちN番目の1次方向、N+1番目の1次方向、という呼び方によって、それぞれの要素が一意に決定される。

10 15 ステップS 1 1 3において、もう一つのカウンタ変数Mの初期値として同じく1を設定する。このカウンタ変数は、すでに生成されているクラスタがある場合に、それらのクラスタの一つを指し示すものとして用いられる。1次方向と同じように、クラスタも一定の順序で配列されており、先頭からの順番によって一意に定めるものとする。ステップS 1 1 4において、M番目のクラスタの最大値を変数MAXに格納し、またM番目のクラスタの最小値を変数MINに格納する。クラスタの最大値とは、そのクラスタに属する1次方向の最大値を意味するものとする。一方、クラスタの最小値とは、そのクラスタに属する1次方向の最小値を意味するものとする。

20 次にステップS 1 1 5において、変数E (N番目の1次方向) が、変数MAX (M番目のクラスタの最大値) に所定値Dを加えた値よりも小さいかどうか (条件1と呼ぶ) を調べる。それとともに、変数E (N番目の1次方向) が、変数MIN (M番目のクラスタの最小値) から所定値Dを減じた値よりも大きいかどうか (条件2と呼ぶ) を調べる。条件1と条件による選別の結果、1次方向の値の大きさ順に各1次方向を並べた場合に、隣接する2つの1次方向であって、かつ一定値以上離れている1次方向は、異なるクラスタに所属するようになる。すなわち、隣り合う1次方向までの距離が近ければ、1次方向の分布密度が高いといえ、その距離が遠ければ1次方向の分布密度は低いと考えられるのである。

25 なお、クラスタの形成は1次方向の分布密度の大きい点を中心に行えば十分であるから、このように1次方向間の距離値に基づいてクラスタを形成する方法以外にも、

標準偏差など他の統計指標を用いてクラスタ形成してもよいことはいうまでもない。

条件1と条件2の両方が満たされた場合は、ステップS116に進む（ステップS115：Yes）。この場合には、ステップS116において変数E（N番目の1次方向）をM番目のクラスタに含める。その後ステップS120に進むが、以降の処理について5は後述する。

一方、ステップS115において、条件1と条件2のいずれか、あるいは双方が満たされない場合には、ステップS117に進む（ステップS115：No）。ステップS117では、カウンタ変数Mに1を加えて、ステップS118でカウンタ変数Mが現在形成されているクラスタの総数より大きいか否かを判定する。Mがクラスタの総数より大きい場合には、もうこれ以上処理すべきクラスタが存在しないことを意味しているので、ステップS119に進む（ステップS118：Yes）。ステップS119では、変数E（N番目の1次方向）が所属すべきクラスタは、まだ存在していないので、新たなクラスタを生成し、このクラスタに変数E（N番目の1次方向）を所属させる。その後ステップS120に進むが、以降の処理については後述する。

また、ステップS118でカウンタ変数Mが現在形成されているクラスタの総数以下である場合には、ステップS114に戻り、それ以降の処理を繰り返す。これにより、変数E（N番目の1次方向）が、すでに存在しているいずれかのクラスタに所属すべきものであれば、ステップS114～ステップS118、あるいはステップS114～ステップS116の繰り返しにより、変数E（N番目の1次方向）をそのクラ20スタに所属させることができる。

次に、ステップS120以降の処理について説明する。ステップS120において、カウンタ変数Nに1を加える。ステップS121においてNが1次方向の総数を超えていない場合には、ステップS112に戻って、次の1次方向の処理を行う（ステップS121：No）。一方、ステップS121においてNが1次方向の総数を超えた場合には、これ以上処理すべき1次方向は存在しないので、処理を終了する。以上でステップS102によるクラスタの形成処理を終える。

(分布中心の算出処理)

次に、ステップS103～S104において、分布中心算出器14は各クラスタの分布中心の算出を行う。まずステップS103において、分布中心算出器14は、カウンタ変数Mに1を代入して初期化する。次にステップS104において、M番目のクラスタの分布中心を計算し、このクラスタの統合方向とする。クラスタの分布中心の計算は次のようにして行う。今、M番目のクラスタに、異なるビームの組み合わせにより得たN個の1次方向 θ_i ($i = 1, 2, \dots, N$) が属しているとする。また、1次方向 θ_i の算出に用いた受信信号の振幅値を a_i とする。このとき、分布中心算出器14は、M番目のクラスタの分布中心 w_M を、式(2)によって算出する。

$$10 \quad w_M = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N a_i} \quad (2)$$

式(2)によって与えられる分布中心は、1次方向 θ_i に受信信号の振幅値による重み付けを施した値の総和を、受信信号の振幅値の総和で除算することにより正規化した値である。すなわち、パルスレーダにおいては、目標の存在する距離付近に受信信号の振幅値のピークが存在し、このピークが大きければ大きいほど、目標の存在確率が大きくなる。したがって、その受信信号に基づいて算出された1次方向の評価を大きくすることで、分布中心と真の目標の方向との一致度が高くなり、測角精度を向上させることができる。

続いて、ステップS105において、分布中心算出器14は、式(3)を用いてM番目のクラスタの強度 a_{cM} を算出する。

$$20 \quad a_{cM} = \sum_{i=1}^N a_i \quad (3)$$

ステップS106において、分布中心算出器14は、カウンタ変数Mに1を加え、さらにステップS107において、Mがクラスタの総数を超えたかどうかを調べる。

Mがクラスタの総数以下である場合には、まだ処理すべきクラスタが存在するので、ステップS104に戻る（ステップS107：No）。一方、Mがクラスタの総数を超えた場合には、ステップS108に進む（ステップS107：Yes）。

ステップS108において、分布中心算出器14は、式（3）によって算出された各クラスタの強度を比較し、強度が最も強いクラスタから強度の強い順に所定数のクラスタを選択する。そして選択したクラスタの分布中心を、統合方向としてそれぞれ算出する。図5の偽像53のように、偽像は一般的に他の像から孤立する。そのため、クラスタ分離器13が偽像53に対応して形成したクラスタ57に属する1次方向の個数は小さくなる。式（3）による強度は、各1次方向を算出するのに用いた受信電力の振幅値の総和に基づいて決定されるので、クラスタに属する1次方向の個数が少なければ、強度も小さくなると考えられる。このことから、各クラスタ間で強度の大きい統合方向を選択することで、偽像を排除することができる。

同様にして、クラスタ57に属する1次方向の個数に基づいて強度を算出するようにしてもよい。例えば、個数そのものをクラスタの強度としてもよい。

また、偽像53は真の目標に対応した像ではないので、偽像53を形成した受信信号の振幅は、真の目標により反射されて受信された受信波の受信信号の振幅よりも小さい。したがってクラスタに属する1次方向の個数に影響される式（3）ではなく、各クラスタに属する1次方向の算出に用いたビーム単体の受信信号の振幅の平均値に基づいて強度を定めるようにしてもよい。

さらに、振幅に基づいて強度を算出することに替えて、各ビームの受信波の受信信号の電力値に基づいて強度を算出するようにしてもよい。

以上から明らかなように、この発明の実施の形態1のレーダ装置によれば、シーケンシャルロービング方式のレーダ装置のように、本来单一目標の測角に使用されるレーダを用いて複数の目標の測角を行うことができる。

また、偽像の発生を抑制して、精度の高い測角を行うことができる、という効果を奏する。

なお、この発明の実施の形態1においては、式(5)によりクラスタの分布中心値を求めて、分布中心値を各クラスタの統合方向とした。これによって、各ビームに基づいて算出された1次方向を重み付け平均するものであり、各測角値の誤差を低減する効果が期待できる。しかし、このような方法に替えて、各クラスタの1次方向を算出する基礎となったビームのうち、最大振幅または最大電力を有するビームから算出された1次方向をそのまま統合方向としてもよい。受信信号のS/N比が十分高い場合には、クラスタにおいて最も高い受信振幅あるいは電力を有する受信信号から算出された1次方向をそのままクラスタ測角値として採用しても、十分な測角精度が得られる。

10 また、この実施の形態1においては、シーケンシャルロービング方式のパルスレーダ装置を例に説明した。しかしながら、モノパルス方式によるパルスレーダ装置においても、アンテナの構成や給電方法が異なるだけであって、受信信号を処理する部位の構成についてはシーケンシャルロービングの場合と何ら異なることがなく、この発明の実施の形態1の動作原理を適用することができる。したがって、この発明が及ぶ範囲はシーケンシャルロービング方式のパルスレーダ装置に限定されるものではない。

15 さらに、この発明の実施の形態1で示される発明の特徴は、パルス方式以外のパルスレーダ装置であっても適用できることはいうまでもないが、特にFMCW(Frequency Modulation Continuous Wave)方式のレーダ装置のように、距離情報まで取得できる場合には、クラスタを形成する場合に角度値(1次方向)が近似する像という条件のみでクラスタを形成するのではなく、各像の距離が近似するという条件をも組み合わせてクラスタを形成するようにすると、さらに精度を向上させることができる。

実施の形態2.

20 実施の形態1では、パルスレーダ装置を例として、1次方向の分布密度に基づいてクラスタを形成し、それらクラスタの分布中心を選別することによって、複数の目標

の方向を分離する方法について説明した。しかしながら、クラスタを形成する方法に替えて、受信信号の特徴量が極大となる（局所的に大きな値をとる）1次方向を統合方向として選択するようにしてもよい。この発明の実施の形態2によるレーダ装置はこのような特徴を有するものである。

5 図7は、この発明の実施の形態2によるレーダ装置の構成を示すブロック図である。図において、レーダ21はシーケンシャルローピング方式によるドップラーレーダ装置であって、その構成要素のうち、図1と同一の符合を付した構成要素は、実施の形態1のレーダ装置における相当部位と同様であるので、説明を省略する。受信器22は、アンテナ4-bが受信した受信波（アナログ信号）を、基準信号発生器2から出力される基準信号を用いてビデオ信号（または中間周波信号）に周波数変換する部位である。さらに受信器22は、周波数変換した受信信号にA/D変換を施してデジタル信号に変換するようになっている。信号処理器23は、受信器22によってデジタル化された受信信号に対して信号処理を行うようになっており、その詳細な構成は図8によって示される。

10 15 図において、周波数解析器24は、受信器22が出力する受信信号を、例えば高速フーリエ変換(FFT)などにより、周波数領域の信号すなわちスペクトルに変換する部位である。アンテナ4-aが放射したビームは目標6に反射されるが、目標6が移動している場合には、ドップラー効果によって周波数のずれが発生する。この周波数のずれを抽出して、目標6の速度を測定する点が、ドップラーレーダの特徴である。信号検出器25は、周波数解析器24が出力したスペクトルから、目標反射波に対応する信号成分を検出し、その特徴量（振幅や電力など）を検出する部位である。△/Σ測角器12は実施の形態1と同様に受信信号の特徴量から1次方向を算出する部位である。

20 25 また、振幅密度分布算出器26は、△/Σ測角器12が算出した1次方向についての振幅密度分布を算出する部位である。また極大値算出器27は、振幅密度分布算出器26が算出した振幅密度分布の極大値を算出する部位である。

次に、レーダ装置 2 1 の動作について説明する。基準信号発生器 2 から受信器 2 2 までの動作については実施の形態 1 と同様であるので説明を省略する。ただしレーダ装置 2 1 はドップラーレーダであるので、目標 6 が移動しているためにドップラー効果が生じて、送信波 5-a の周波数と反射された受信波 5-b の周波数との間にずれ 5 が生じている点に注意すべきである。

続いて受信器 2 2 は、アナログ信号として入力される受信波を、基準信号発生器 2 が output する基準信号を用いてビデオ信号（または中間周波信号）に周波数変換する。さらに周波数変換により得られた受信信号に A/D 変換を施して、そのデジタル信号を信号処理器 2 3 に出力する。

10 信号処理器 2 3 の内部において、周波数解析器 2 4 は受信信号に高速フーリエ変換を施し、各ピームについて一定周期毎の受信信号から周波数のずれと受信振幅との分布を出力する。具体的には図 9 に示すように受信信号（図 9 の (A)）を一定周期毎に切り出して、それぞれに対して周波数解析を行う（図 9 の (B)）。なお、この例では周波数のずれと受信振幅との分布を出力することとしたが、周波数のずれと受信電力 15 との分布を出力するようにしてもよいことはいうまでもない。また、受信振幅や受信電力は受信信号の特徴量の例であって、周波数のずれとその他の特徴量の分布としてもよい。

続いて、信号検出器 2 5 は、周波数解析器 2 4 が所定の間隔毎に出力する周波数-受信振幅分布から、受信振幅がピークとなる周波数（のずれ）とその受信振幅とを抽出し、 Δ/Σ 測角器 1 2 に出力する。 Δ/Σ 測角器 1 2 では、実施の形態 1 と同様に隣接するピームパターンの組み合わせにおける受信振幅から Δ/Σ 値を算出して、1 次方向を出力する。

20 振幅密度分布算出器 2 6 は、 Δ/Σ 測角器 1 2 が算出した複数の 1 次方向について離散的に分布する振幅値を平滑化することにより、振幅密度分布を得る。具体的には、1 次方向 θ_k を算出するのに用いたアンテナピームの受信振幅値を a_k とすると、振幅 25 密度分布算出器 2 6 は、受信振幅密度分布 $A(\theta)$ を式 (4) によって算出する。

$$A(\theta) = a_k \delta(\theta - \theta_k) W(\theta) \quad (4)$$

ここで、 $\delta(\theta)$ はディラックの δ 関数であり、 $W(\theta)$ は平滑処理に用いる窓関数である。

次に極大値算出器 27 は、式 (4) によって算出された受信振幅密度分布 $A(\theta)$ から $A(\theta)$ の極大値を算出する。式 (4) の $A(\theta)$ は、1 次方向が集中している方向の近傍で大きくなる。また複数目標からの反射波が干渉しないビームの受信信号から算出された 1 次方向は、ビームの組み合わせによらず、真の目標の方向とほとんど同じ値になる。それに対して、複数の目標からの反射波が干渉したビームの受信信号から算出された 1 次方向は、算出に用いるビームによって値が異なる。このような方向は偽像の方向となり、かつ偽像においては 1 次方向の分布がまばらとなるので、 $A(\theta)$ の値は小さくなる。偽像付近の $A(\theta)$ は極大値とはならないか、極大となつても、その極大値は小さい。一方、真の目標の方向に対して一定値以上の値となる。これによって、真の目標についての方向を分離できるのである。

続いて、極大値算出器 27 は、 $A(\theta)$ の極大値（ピーク）を所定数だけ検出し、これを統合方向として出力する。

以上から明らかなように、実施の形態 2 のレーダ装置によれば、振幅密度分布とその極大値を算出することによって、真の目標を分離しつつ、偽像の分離を防止することができる。

なお、この実施の形態 2においては、クラスタ分離を行わなかったが、実施の形態 1 と同様にクラスタ分離器 13 に相当する構成要素を設けて、クラスタ分離をし、クラスタ毎に式 (4) による振幅密度分布を算出してもよい。またその場合には、実施の形態 1 と同様にクラスタ毎の強度を算出し、この強度によってクラスタを選別してから、振幅密度分布を算出してもよい。

25 実施の形態 3.

実施の形態 1 及び 2 によるレーダ装置は、所定の分布密度をなす 1 次方向の中から

統合方向を選択する、若しくは、分布中心を算出することによって統合方向を決定し、複数の目標の方向を分離するものであった。

この他に、これまで述べたような方法で統合方向を求めた後、その統合方向に対してもルフィッティング処理を行うことにより、さらに目標の方向の算出精度を高めるようにしてもよい。この発明の実施の形態3によるレーダ装置は、このような特徴を有するものである。

図10は、この発明の実施の形態3によるレーダ装置の構成を示すブロック図である。図において、レーダ装置61はモノパルス方式によるドップラーレーダ装置である。基準信号発生器2及び送信器3は実施の形態2の相当部位と同様であるので説明を省略する。分配器62は送信器3が発生した送信信号を複数の出力先に分配する回路または素子である。図の例では、2つの出力先に分配されるように構成されている。送受切替器63-aは、アンテナ64-aを分配器62と受信器22とのいずれかに直結するスイッチであり、可動端子Aと接点B及びCを有していて、外部からの制御信号によって接続先を変更できるようになっている。送受切替器63-bについても、送受切替器63-aと同様に、アンテナ64-bを分配器62と受信器22とのいずれかに接続するスイッチであり、同じく可動端子Aと接点B及びCを有している。なおここでいう可動端子とは機械的に可動であるということに限られず、電子的に接続端子を選択するようになっていてもよい。

アンテナ64-a及び64-bは、同時にそれぞれ送信波65-1と送信波65-2を放射するとともに、反射波65-3及び65-4をそれぞれ受信するアンテナである。送信波65-1と65-2のビームパターンは、その一部が重なり合うように放射されるようになっている。反射波65-3は送信波65-1の一部が目標6に反射されて生じた反射波であり、反射波65-4は送信波65-2の一部が目標6に反射されて生じた反射波である。受信器66-a及び66-bは実施の形態2の受信器22と同様であるので説明を省略する。信号処理器67は、アンテナ64-aと受信器66-a及びアンテナ64-bと受信器66-bの少なくとも2系統の受信信号

を組み合わせて、測角処理を行う部位であり、その詳細な構成は図11のブロック図によって示される。

図11において、周波数解析器68は、実施の形態2における周波数解析器24に相当する部位であり、ドップラー効果による周波数のずれを解析するものである。信号検出器69は、周波数解析器68が解析した周波数のずれにおける受信信号の特徴量を抽出する部位である。ここで、レーダ装置61はパルスドップラーレーダ装置であるので、周波数のずれだけでなく、パルス波の到着遅延時間を考慮する必要がある。すなわちアンテナ64-a及び64-bから放射されたパルス波は目標6に到達し、さらに目標6によって反射されて再びアンテナ64-a及び64-bに戻ってくるが、10 その際アンテナ64-a及び64-bと目標6との往復距離を電波が移動する分だけ時間が経過する。このように、パルスドップラーレーダ装置における受信信号におけるパルス波の到着時間には距離の情報も含まれているので、これらを必要に応じて抽出するようにする。

△/Σ測角器12、クラスタ分離器13、分布中心算出器14は実施の形態1の相当部位と同様であるので説明を省略する。モデルフィッティング処理器70は、反射率と方向、受信信号の特徴量との関係を規定するモデルと、分布中心算出器14によって算出された受信信号の特徴量及び統合方向とを照合して、統合方向の精度を向上する部位である。

なお、モデルフィッティング処理器70も方向統合器の一部を構成するものである。

次にレーダ装置61の動作について説明する。まず、基準信号発生器2は、自身が内蔵する局所発生器により周波数が一定である微弱な基準信号を発生する。送信器3はこの微弱な基準信号を增幅し、かつパルス変調を施して、送信信号を発生させる。この送信信号は、分配器62によって送受切替器63-a及び63-bに送信される。送受切替器63-a及び63-bは、可動端子Aを接点Bに接続させる。これによって、分配器62と、アンテナ64-a及び64-bとが直結するので、送信器3が発生させた送信信号（パルス信号）はアンテナ64-a及び64-bに送信されて、

アンテナ64-aと64-bからそれぞれ送信波65-1と65-2として同時に放射される。レーダ装置61はモノパルス方式によるレーダ装置であるから、同時に少なくとも2つのビームパターンによるビームを放射することで、一回のパルス波放射のみによってもビームの組み合わせが得られる。しかし、これと並行して、アンテナ駆動器9は、アンテナ64-a及び64-bによる素子アレーの個数よりも多くの方向のビームパターンが得られるようにアンテナ64-aと64-bがビームを放射する方向を変更する。

アンテナ64-a及び64-bがパルス波を放射すると、送受切替器63-a及び63-bは、可動端子Aを接点Cに接続させる。これによって、アンテナ64-aと受信器66-a、そしてアンテナ64-bと受信器66-bが直結する。この間にビーム65-1と65-2は目標6に反射されて、反射波65-3と65-4として再びアンテナ64-a及び64-bに到来する。アンテナ64-aと64-bはそれぞれの反射波を受信波として受信し、送受切替器63-a及び63-bを経由して受信器66-a及び66-bに受信波を出力する。このようにレーダ装置61は、送受切替器63-a及び63-bによってアンテナ64-aと64-bの送受を切り替える。アンテナ64-aと64-bがパルス波を放射するタイミングは任意であるのに対して、アンテナ64-aと64-bが反射波を受信するタイミングは目標6との相対的な位置関係によって決定され、また目標6の位置は不定であることが多いので、送受切替器63-a及び63-bが可動端子Aを切り替えるタイミングは接点Bに接続している時間に比べて接点Cに接続している時間の方が長いことが多い。図12は送受切替器63-a及び63-bにおける可動端子Aを切り替えるタイミングチャートである。

次に、受信器66-a及び66-bにおいて、実施の形態2における受信器22と同様に基準信号と受信波をデジタル信号に変換し、信号処理器67に出力する。信号処理器67において、周波数解析器68は受信信号に高速フーリエ変換を施し、各ビームについて一定周期毎の受信信号から周波数のずれと受信信号振幅との分布を

出力する。そして、信号検出器 6 9において、周波数のずれと受信信号振幅との分布において、受信信号振幅がピークとなる周波数を抽出する。さらに、 Δ/Σ 測角器 1 2は、信号検出器 6 9が抽出した受信信号振幅に基づいて Δ/Σ 値を求め、 Δ/Σ 値から1次方向を算出する。これらの処理については実施の形態2における周波数解析器2 4及び信号検出器2 5、 Δ/Σ 測角器1 2における処理と同様であるので詳細な説明を省略する。

続いてクラスタ分離器1 3は1次方向の分布に基づくクラスタを形成し、分布中心算出器1 4は、各クラスタにおける分布中心を算出する。これらの処理については実施の形態1と同様である。

10 次にモデルフィッティング処理器7 0は、分布中心算出器1 4が算出した分布中心（各クラスタの統合方向）に対してモデルフィッティング処理を施す。以下において、観測に用いるビームの数をm、真の目標の方向を θ 、j番目（ただし $j = 1, 2, \dots, m$ ）のビームの指向特性を $\alpha_j(\theta)$ 、j番目のビームで実際に観測される受信信号を s_j とする。また目標数をnとし、i番目（ただし $i = 1, 2, \dots, n$ ）の目標の反射率、角度、距離をそれぞれ γ_i 、 θ_i 、 r_i と仮定すると、受信信号の推定値 s'_j は式(5)で表される。

$$s'_j = C \sum_{i=1}^n \gamma_i \alpha_j(\theta_i) \frac{\exp(-j2kr_i)}{r_i^4} \quad (5)$$

ただし、Cはレーダ装置の性能によって定まる係数である。

そこで、最小二乗法を用いて

$$20 \quad \sum_{j=1}^m |s_j - s'_j|^2 \quad (6)$$

が最小となるように、 γ_i と θ_i を推定する。ここで、 γ_i と θ_i を同時に推定する場合、この最小二乗法は非線形最小二乗法となるため、反復改良によって γ_i と θ_i を推定することになる。なお、式(6)の値は、残差二乗和として知られているものである。

反復改良による推定処理では、初期値の選択方法がよくないと、推定処理に要する

演算量が増大し、処理時間がかかるという問題がある。そこでレーダ装置 6 1 では、分布中心算出器 1 4 が算出したクラスタの分布中心を θ_1 の初期値として用いることとする。クラスタの分布中心の誤差は小さく、精度は十分に高いので、クラスタの分布中心を初期値として使用すれば早期に推定値が収束する。したがって、演算量を削減することができ、十分効率的な計算が行える。

一方、反射率 γ_1 は、最小二乗法における線形性(linearity)が強く、推定処理における初期値依存性が低い。そこで、反射率 γ_1 の初期値については、あまり真値に近い値を与える必要はなく、例えばある一定値を反射率 γ_1 の初期値とすればよい。

また、モデルフィッティングにより γ_1 と θ_1 とを推定すると、実際に目標が存在しない方向では、反射率がほぼ 0 となるので、偽像が現れる方向では反射率が小さくなる。そこで、所定値以下の反射率となるクラスタの分布中心については棄却するようすれば、偽像を採用してしまうことを防止できる。

最後にモデルフィッティング処理器 7 0 は、このようにして推定した θ_1 を統合方向として出力する。

以上から明らかなように、この発明の実施の形態 4 のレーダ装置によれば、モデルフィッティングの手法を用いて高精度な方向推定を行う一方で、クラスタの分布中心をモデルフィッティングの初期値に用いて、方向の推定を行うこととしたので、モデルフィッティングにおける反復改良の回数を少なくすることができ、演算量を削減することができるのである。

なお、モデルフィッティング処理器 7 0 では、反射率 γ_1 を推定することとしたが、反射率 γ_1 に替えて、 $\gamma'_1 = \gamma_1 / r_1^4$ を推定するようにしてもよい。式 (5) において、反射率 γ_1 と方向 θ_1 とを推定パラメータとするには、それ以外の変数が既知でなければならないが、このような仮定に反して、距離 r_1 は未知であることが多い。このような場合であっても、 $\gamma'_1 = \gamma_1 / r_1^4$ を推定することとして、 γ_1 と r_1 とを独立した変数としてみなさないようにすれば、距離 r_1 は未知であっても、モデルフィッティングによる推定処理を適用することができる。

また、モデルフィッティング処理器70は、受信信号 s_i (s_i は振幅と位相をもパラメータとして有する)についてモデルフィッティングを行うこととした。しかし、この他にも、受信信号の振幅値や電力値についてモデルフィッティングを行うようにしてもよい。受信信号の振幅値を用いてモデルフィッティングを行うには、式(6)において、 s_i および s'_{-i} の代わりに $|s_i|$ および $|s'_{-i}|$ を用いるようにすればよい。また受信信号の電力値を用いてモデルフィッティングを行うには、式(6)において、 s_i および s'_{-i} の代わりに $|s_i|$ および $|s'_{-i}|$ を用いるようにすればよい。受信信号の振幅値や電力値についてモデルフィッティングを行うようにすることで、振幅や位相を取り扱う必要がなくなり、演算量をさらに削減できる。

また方向の初期値として分布中心を用いたが、実施の形態1で述べたようにSN比が高い場合には、クラスタ内において最も高い受信振幅あるいは電力を有する受信信号から算出された1次方向を初期値としてもよい。また実施の形態2で述べたように1次方向の局所的分布において受信信号の特徴量が極大となる1次方向を初期値としてもよい。

15

実施の形態4.

以上述べた実施の形態3によれば、モデルフィッティングによる方向推定を行った場合であっても、クラスタの分布中心を初期値としてすることで、反射率や方向の推定に要する演算量を削減できる。しかし、この他に方向の初期値を複数与えてそれぞれの20推定演算を組み合わせることで、最小二乗法による推定演算の総量を削減するようにしてもよい。実施の形態4によるレーダ装置はこのような特徴を有するものである。

この発明の実施の形態4によるレーダ装置は自動車に搭載するレーダ装置(車載レーダ)であって、例えば図13に示すように自動車の前方に装着された車載レーダ71は、衝突防止やオートクルーズ用の車間制御に用いられる。また側面に装着された車載レーダ72及び73は、側突検知や追い越し車検知に用いられる。そして後方に装着された車載レーダ74は、後方障害物検知に用いられるものである。これらのレ

レーダ装置が目標物の方向を検知できるようになることによって、例えば自動車の前方に装着された車載レーダ7 1であれば、隣の車線を走行している車を検知してしまって、自動的に減速をすることがなくなる。また側面に装着された車載レーダ7 2及び7 3であれば、追い越し車両の位置まで正確に判断して適切な安全制御を行うことが

5 できるのである。

車載レーダは、目標物の位置だけでなく、速度も測定する必要があることが多いので、自車の相対距離と相対速度とを測定可能なFMCW (Frequency Modulation Continuous Wave) レーダ方式が採用されることが多い。そこで、この発明の実施の形態4によるレーダ装置は、FMCW方式によるレーダ装置であるものとし、FMC

10 Wレーダにおいてこの発明を適用する方法について説明することとする。

図14は、この発明の実施の形態4によるレーダ装置の構成を示すブロック図である。図において、レーダ装置8 1はFMCWレーダ装置である。レーダ装置8 1において、基準信号発生器8 2は、VCO (Voltage Controlled Oscillator) を備えており、一定周期毎に徐々に周波数が上昇又は下降する微弱基準信号を発生する部位である。

15 送信器3は、実施の形態1と同様に増幅器を有していて、微弱な基準信号を送信信号に増幅する部位である。送受切替器8 3は、送信器3から出力された送信信号をアンテナ4-aに出力し、同時にアンテナ4-aから出力された反射波を後述する受信器8 5に出力するサーキュレータである。

アンテナ4-a及びアンテナ駆動器9については、実施の形態1と同様であるので説明を省略する。レーダ装置8 1はFMCWレーダであるので、アップフェーズとダウンフェーズ（またはアップチャーブとダウンチャーブ）からなるビーム8 4-aを目標6に放射し、その一部が目標6に反射されてアンテナ4-aに到来した受信波8 4-bを受信するようになっている。受信器8 5は、ミキサ（混合器）を備えており、受信した受信波と基準信号発生器8 2が生成した基準信号とのピート信号を生成し、
25 さらにそのピート信号をデジタル信号に変換して出力する部位である。ピート信号は各フェーズにおいて目標毎に生成される。したがって1つのフェーズにおいて、N

個の目標にビームを照射して反射された受信波からビート信号を得た場合、N個のビート信号が生成されることになる。信号処理器86は、ビート信号を処理して、FM CWレーダの特徴である相対距離及び相対速度を算出するとともに、この発明の目的である目標の方向を測定する部位であって、その詳細な構成は図15のブロック図によって示される。

図15において、周波数解析器87はビート信号の周波数分析を行う部位であって、信号検出器88は周波数解析器87が分析した周波数分布からビート信号の周波数、及び振幅などのビート信号の特徴量を抽出する部位である。アップ/ダウンチャーブ連結器89は、アップフェーズ（アップチャーブ）におけるビート信号とダウンフェーズ（ダウンチャーブ）におけるビート信号の対を生成（coupeling）する部位である。

以後、 Δ/Σ 測角器12、クラスタ分離器13、分布中心算出器14は実施の形態1と同様であるので説明を省略する。最後にモデルフィッティング処理器90は、クラスタの分布中心に対してモデルフィッティングを行う部位である。なお、図15ではFMCWレーダを用いて目標の方向を算出するために必要となる構成を示しており、相対距離又は相対速度を算出する上で必要となる構成については図示及び説明を省略している。

次にレーダ装置81の動作について説明する。レーダ装置81はFMCW方式のレーダ装置であるが、基準信号発生器82から受信器85までの動作は、実施の形態1に示したパルスレーダ装置における相当部位の動作と同様であるので、説明を省略する。ただし前述の通り、受信器85はビート信号を信号処理器86に出力する点で異なっている。

信号処理器86において、周波数解析器87は高速フーリエ変換などによって、ビート信号の周波数分布を生成し、信号検出器88はこの周波数分布からビート信号の周波数を抽出する。アップ/ダウンチャーブ連結器89は、信号検出器が抽出したアップフェーズのビート信号周波数とダウンフェーズのビート信号周波数との対を生成

する。これは次のような理由による。

レーダ装置81はFMCWレーダ装置であるが、FMCWレーダ装置では、アップフェーズのピート信号とダウンフェーズのピート信号の対が得られた場合に、相対速度と相対距離とを算出するというものである。具体的にいえば、アップフェーズのピート信号周波数をU、ダウンフェーズのピート信号周波数をD、周波数掃引幅をB、変調時間をT、光速をc、送信波の波長をλとした場合、目的の相対距離R、相対速度Vはそれぞれ式(7)、式(8)で与えられる。

$$R = \frac{cT}{4B}(D - U) \quad (7)$$

$$V = \frac{\lambda}{4}(D + U) \quad (8)$$

このようにRとVを算出するためには、UとDを決定することが必要である。ところで、目標がN個存在している場合には、ピート信号がアップフェーズとダウンフェーズのそれぞれでN個ずつ存在することとなり、どのアップフェーズのピート信号とどのダウンフェーズのピート信号とを組み合わせて式(7)、式(8)に代入するかによって、RとVは全く異なった値になることが理解できる。したがって、目標が複数存在する場合に、それぞれの相対距離と相対速度とを算出するために、アップフェーズのピート信号とダウンフェーズのピート信号との正しい組み合わせを得ることが重要である。アップ/ダウンチャーブ連結器89はこのような処理を行うのである。ここでFMCWレーダにおいて、目標が複数存在する場合に、アップフェーズのピート信号とダウンフェーズのピート信号との正しい組み合わせを得る方法については、すでにいくつか公知の方法（例えば、特開平5-142337号公報「ミリ波レーダ距離速度測定装置」など）が紹介されているので、ここでは説明を省略する。

次に、△/Σ測角器12において、ピート信号の振幅値に基づいて△/Σ値を求め、目標の1次方向を算出する。以後、クラスタ分離器13、分布中心算出器14における処理は、実施の形態1と同様であるので説明を省略する。

続いて、モデルフィッティング処理器90において、クラスタの分布中心の受信信号 s_j と推定値 s'_j とのモデルフィッティングを行う。図16は、モデルフィッティング処理器90におけるモデルフィッティング処理を示すフローチャートである。まず、図16のステップS401において、モデルフィッティング処理器90は、カウンタ変数Mを1に初期化する。以降の処理において、カウンタ変数Mはクラスタを識別するために用いられる。

次にステップS402において、モデルフィッティング処理器90は、M番目のクラスタについて、そのクラスタの分布中心の近傍の範囲で、角度推定値を所定の個数だけ設定する。ここではN個（Nは自然数）の角度推定値を選択するものとする。角度推定値の設定方法としては、例えばM番目のクラスタに属する1次方向のうち分布中心との距離が小さい順にN個の1次方向を角度推定値として選択する、などの方法が考えられる。

ステップS403において、カウンタ変数Iと変数MINとを初期化する。カウンタ変数Iの初期値には1が与えられる。このカウンタ変数Iは、N個の角度推定値のいずれかを識別するために用いられる。変数MINは最小値を算出するために用いられる記憶域であり、最小値として取り得ないようある程度の大きな値であれば、どのような値を初期値としてもよい。続いて、ステップS404において、I番目の角度推定値を θ_i として、式(5)により s'_j を算出し、式(6)による最小二乗法において、反射率 γ_j のみを反復改良することで、モデルフィッティングを行う。実施の形態3で述べたとおり、反射率 γ_j は線形性が強いため、早期に推定値が収束する。その結果、反復改良によって式(6)の値（残差二乗和）が最小となる反射率を求めておく。ステップS405では、ステップS404で求めた最小値がMINより小さいか否かを調べる。最小値がMINより小さい場合には、このクラスタにおいてそれ以前の角度推定値を用いて求めた最小値よりも、現在の角度推定値による最小値の方が小さいことを意味している。そこで、この場合にはステップS406に進み（ステップS405: Yes）、変数MINに式(6)で計算した現在の残差二乗和を設定し

て、さらに現在の角度推定値をメモリに記憶しておく。なお式(6)の最小値と、その最小値を得た角度推定値はクラスタ毎に記憶域が確保され、保存される。そしてその後、ステップS407に進む。

一方、ステップS405において、ステップS404で求めた最小値がMINよりも小さくない場合には、その最小値はそのクラスタ全体の最小値としては採用できないので、直接ステップS407に進む(ステップS405:No)。

次にステップS407において、Iに1を加える。続くステップS408において、IがNを超えるかどうかを判定し、N以下である場合にはステップS404に戻る(ステップS408:No)。一方、Nを超えた場合にはこのクラスタにはこれ以上角度推定値が存在しないので、次のクラスタの処理に遷る。具体的には、ステップS409に進み(ステップS408:Yes)、Mに1を加える。ステップS410において、Mがクラスタの総数を超えたかどうかを判定する。その結果、Mがクラスタの総数以下である場合には、まだ未処理のクラスタがあるので、次のクラスタの処理を行うためにステップS402に戻る(ステップS410:No)。また、Mがクラスタの総数を超えた場合には、未処理のクラスタはこれ以上ないので、ステップS411に進む(ステップS410:Yes)。

ステップS411において、モデルフィッティング処理器90は、クラスタ毎に求められた式(6)を最小とする角度推定値を出力する。

以上から明らかなように、この発明の実施の形態5のレーダ装置によれば、非線形最小二乗法に用いなければ推定することが困難な角度成分を複数の角度推定値に固定することによって、角度成分についての反復改良演算を排除することが可能となり、演算量をさらに削減することができる。

なお上記の角度推定値の個数Nを1として、反射率のみモデルフィッティングし、その結果、所定の条件に見合ったクラスタのみを選択するようにしてもよい。たとえば、各クラスタにおいて1次方向を1つだけ選択して(これが角度推定値となる)、式(5)の角度成分をこの1次方向に固定しておき、反射率のみモデルフィッティング

して、反射率が基準値以上となる場合のみ、この角度推定値を統合方向として採用するようにしてもよい。また1次方向ではなく、分布中心としてもよいことはいうまでもない。

また同じく分布中心若しくは1つの1次方向を角度推定値として1つだけ選択し、

5 反射率のみモデルフィッティングして、その結果、式(6)の値が所定値以下とならない場合に、そのクラスタの1次方向を棄却するようにしてもよい。式(6)(残差二乗和)が十分に小さくならない場合には、仮定した目標の方向、すなわちクラスタ測角値の精度が低いことを意味するため、このような値を無効とすることで、測角精度を向上させることができる。

10 産業上の利用の可能性

以上のように、この発明に係るレーダ装置は、複数の目標の方向を計測する用途に有用である。

請求の範囲

1. 複数の方向にピームを放射するとともに、目標により反射された前記ピームを受信波として受信するアンテナと、
前記アンテナが受信した受信波に検波処理を施して受信信号を出力する受信器と、
5 前記受信器が output した受信信号から前記受信波の特徴量を抽出する信号検出器と、
前記複数の方向に放射されたピームのうち、一部が重なり合う少なくとも2つのピームの受信波より前記信号検出器が算出した特徴量の組み合わせから、前記目標の方向である1次方向を算出する方向算出器とを備えるレーダ装置において、
前記方向算出器が算出した1次方向が複数存在する場合に、複数の前記1次方向の
10 分布が所定の密度以上となる領域からその領域に属する1次方向に基づいて真の目標の方向である統合方向を算出する方向統合器を備えたことを特徴とするレーダ装置。
2. 複数の方向にピームを放射するとともに、目標により反射された前記ピームを受信波として受信するアンテナと、
前記アンテナが受信した受信波に検波処理を施して受信信号を出力する受信器と、
15 前記受信器が output した受信信号から前記受信波の特徴量を抽出する信号検出器と、
前記複数の方向に放射されたピームのうち、一部が重なり合う少なくとも2つのピームの受信波より前記信号検出器が算出した特徴量の組み合わせから、前記目標の方向である1次方向を算出する方向算出器とを備えるレーダ装置において、
前記方向算出器が算出した1次方向が複数存在する場合に、複数の前記1次方向の
20 算出に用いた前記受信波の特徴量の分布が所定の密度以上となる領域からその領域に属する目標の方向に基づいて真の目標の方向である統合方向を算出する方向統合器を備えたことを特徴とするレーダ装置。
3. 前記方向統合器は、前記所定の密度以上の領域に属する1次方向からクラスタを形成して、そのクラスタ単位に前記統合方向を算出することを特徴とする請求の範
25 囲第1項又は第2項に記載のレーダ装置。
4. 前記方向統合器は、2つの前記1次方向の角度差が所定値以上となる場合に、

当該 2 つの目標の方向を異なる前記クラスタに所属させることを特徴とする請求の範囲第 3 項に記載のレーダ装置。

5. 前記方向統合器は、前記クラスタに所属する複数の 1 次方向の分布中心を求め、その分布中心を前記クラスタの統合方向として出力することを特徴とする請求の範囲

5 第 3 項に記載のレーダ装置。

6. 前記方向統合器は、前記クラスタに所属する各 1 次方向の角度に、その 1 次方向の算出に用いた前記受信波の特徴量による重み付けをして前記分布中心を求めるこ

とを特徴とする請求の範囲第 5 項に記載のレーダ装置。

7. 前記方向統合器は、前記受信波の特徴量としてその受信波の受信振幅を用いて重み付けをすることを特徴とする請求の範囲第 6 項に記載のレーダ装置。

8. 前記方向統合器は、前記受信波の特徴量としてその受信波の受信電力を用いて重み付けをすることを特徴とする請求の範囲第 6 項に記載のレーダ装置。

9. 前記方向統合器は、前記クラスタに所属する 1 次方向の算出に用いた前記受信波の受信振幅が最大となる目標の方向を、前記クラスタの統合方向とすることを特徴

15 とする請求の範囲第 3 項に記載のレーダ装置。

10. 前記方向統合器は、前記クラスタに所属する 1 次方向の算出に用いた前記受信波の受信電力が最大となる 1 次方向を、前記クラスタの統合方向とすることを特徴

とする請求の範囲第 3 項に記載のレーダ装置。

11. 前記方向統合器は、前記 1 次方向の算出に用いた受信波の受信振幅の分布密度を求め、この分布密度が極大となる角度を前記統合方向として出力することを特徴

20 とする請求の範囲第 2 項に記載のレーダ装置。

12. 前記方向統合器は、前記受信波の受信振幅を平滑化する窓関数を設定して前記分布密度を求ることを特徴とする請求の範囲第 11 項に記載のレーダ装置。

13. 前記方向統合器は、前記統合方向の強度を求め、この強度が所定の条件を満

25 たす場合に、前記統合方向を出力することを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載のレーダ装置。

14. 前記方向統合器は、前記統合方向の算出に用いた前記受信波の受信振幅の総和を前記強度として求めることを特徴とする請求の範囲第13項に記載のレーダ装置。

15. 前記方向統合器は、前記統合方向の算出に用いた前記受信波の受信振幅の平均値を前記強度として求めることを特徴とする請求の範囲第13項に記載のレーダ装置。

5 16. 前記方向統合器は、前記統合方向の算出に用いた前記受信波の受信電力の平均値を前記強度として求めることを特徴とする請求の範囲第13項に記載のレーダ装置。

17. 前記方向統合器は、前記強度が所定値以上となる場合に、前記統合方向を出力することを特徴とする請求の範囲第13項に記載のレーダ装置。

10 18. 前記方向統合器は、前記クラスタに属する1次方向の個数に基づいてそのクラスタの統合方向の強度を求め、この強度が所定の条件を満たす場合に、前記統合方向を出力することを特徴とする請求の範囲第3項に記載のレーダ装置。

19. 前記方向統合器は、前記強度が強い順に所定の個数の前記統合方向を選択し、選択された統合方向を出力することを特徴とする請求の範囲第3項に記載のレーダ装置。

15 20. 前記方向統合器は、算出した前記統合方向を角度成分の初期値として、前記目標の角度と反射率を仮定して予め設定したモデル受信信号と、前記方向算出器が前記1次方向の算出に用いた受信信号と、をモデルフィッティングすることにより前記目標の方向を推定することを特徴とする請求の範囲第3項に記載のレーダ装置。

20 21. 前記方向統合器は、前記クラスタに属する1次方向から所定の個数の1次方向を選択し、選択された1次方向のいずれかを前記角度成分として反射率を最小二乗法により推定するモデルフィッティングを行うことを特徴とする請求の範囲第20項に記載のレーダ装置。

25 22. 前記方向統合器は、モデルフィッティングにより推定された前記反射率が所定値以上となる場合に、前記クラスタにおいて前記目標の方向を推定することを特徴

とする請求の範囲第21項に記載のレーダ装置。

23. 前記方向統合器は、モデルフィッティングの残差二乗和の最小値が所定値以上となる前記クラスタから算出した統合方向を棄却することを特徴とする請求の範囲第21項に記載のレーダ装置。

図 1

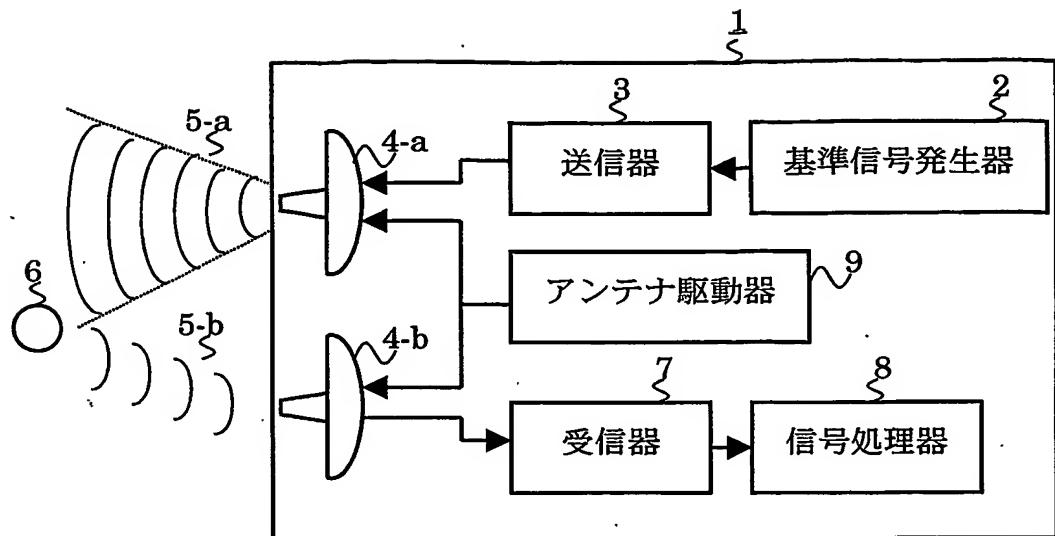
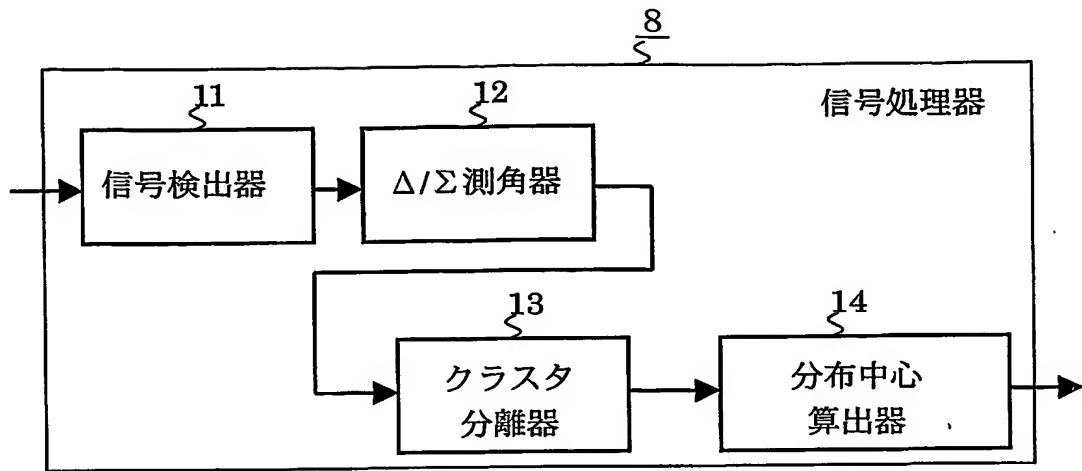
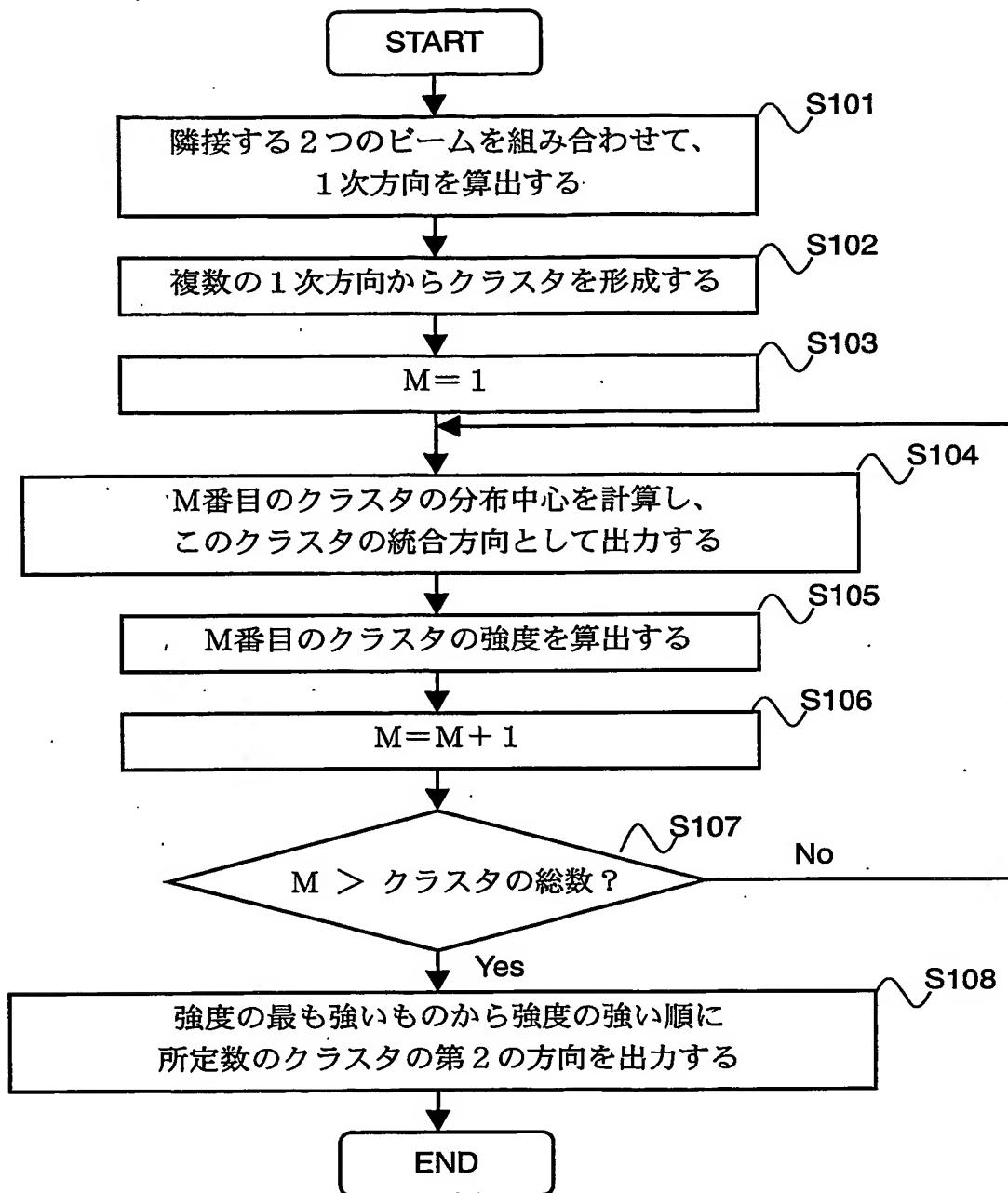


図 2



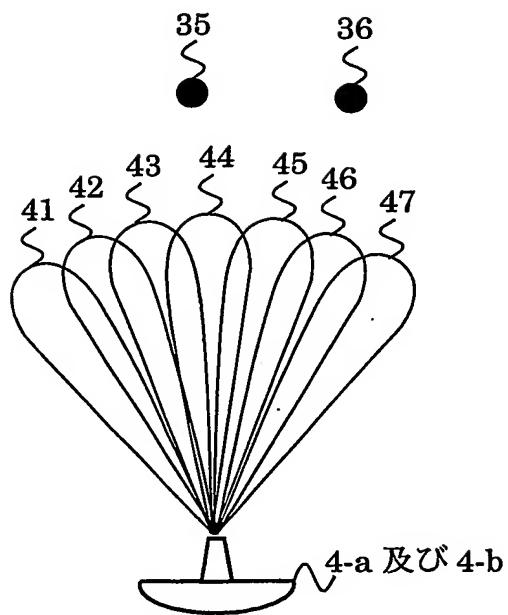
3/18

図3



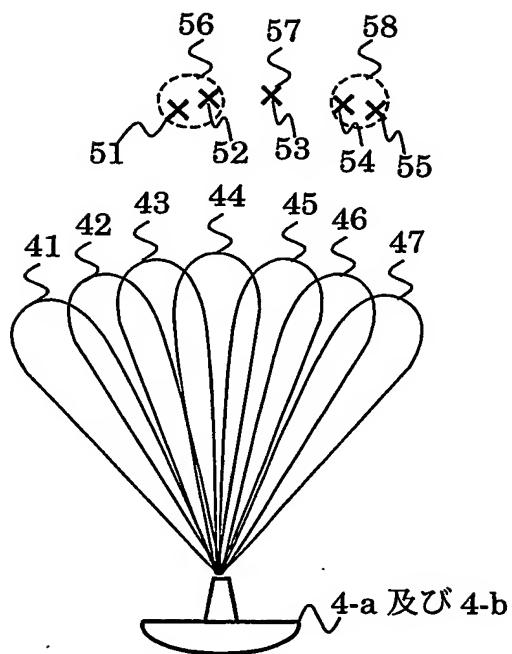
4/18

図4



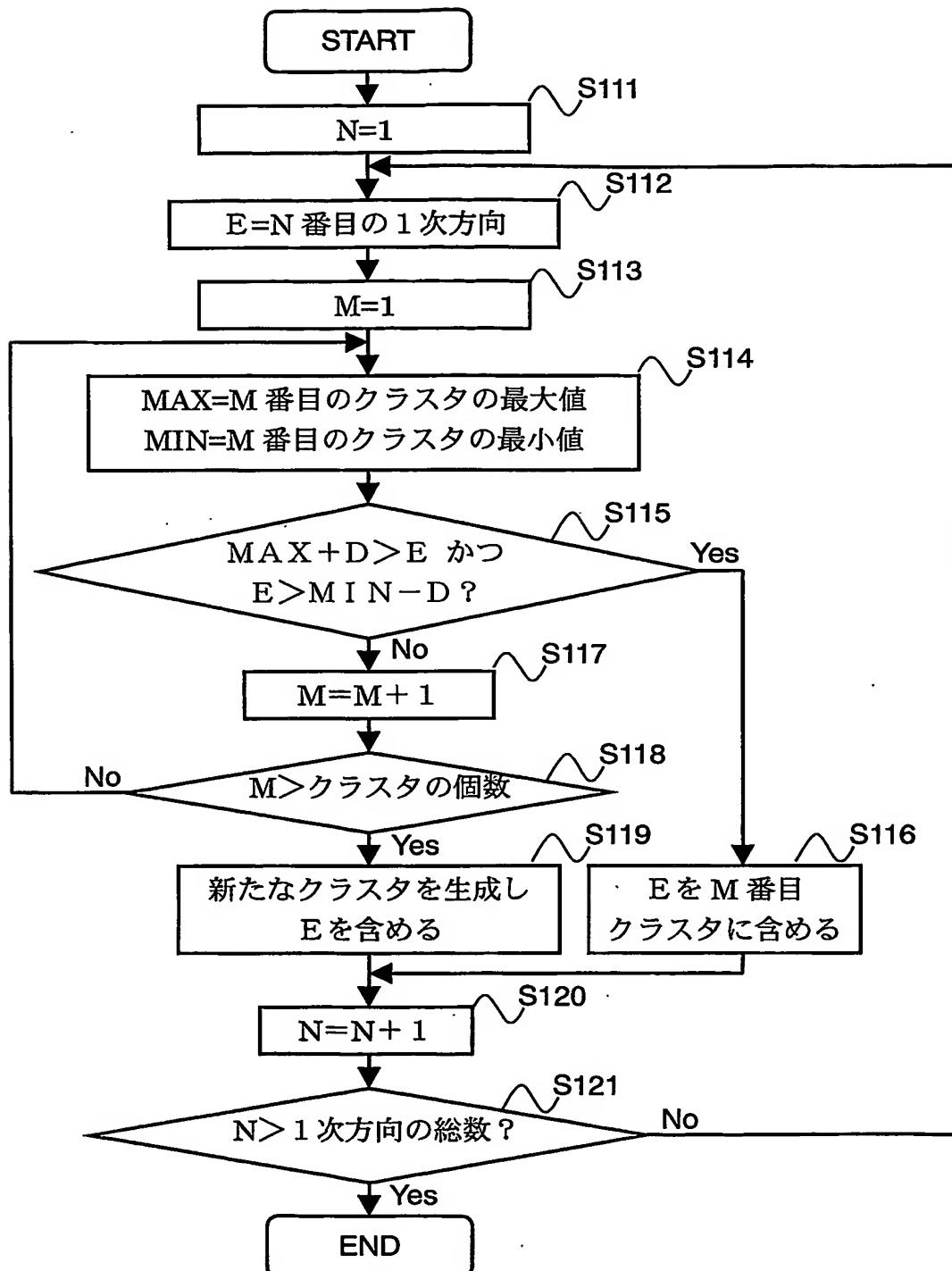
5/18

図 5



6/18

図 6



7/18

図 7

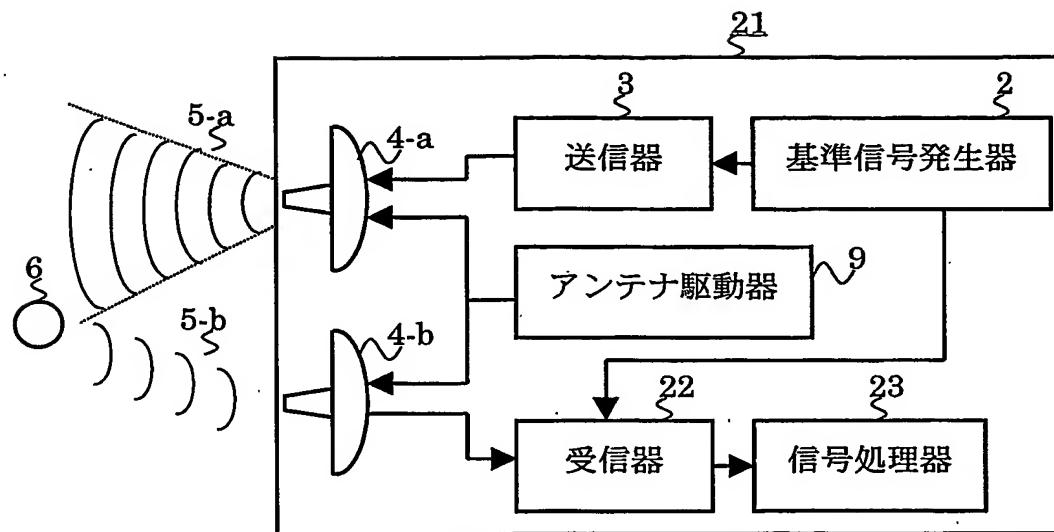
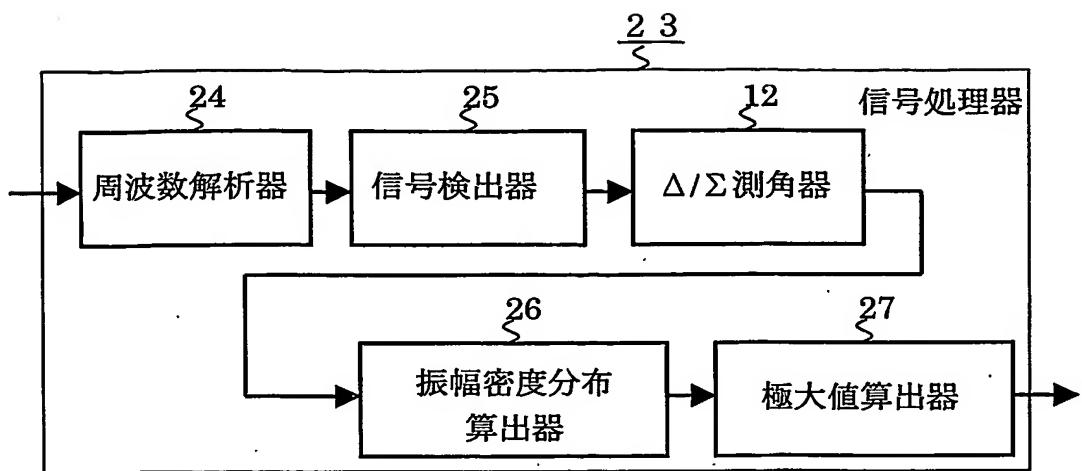


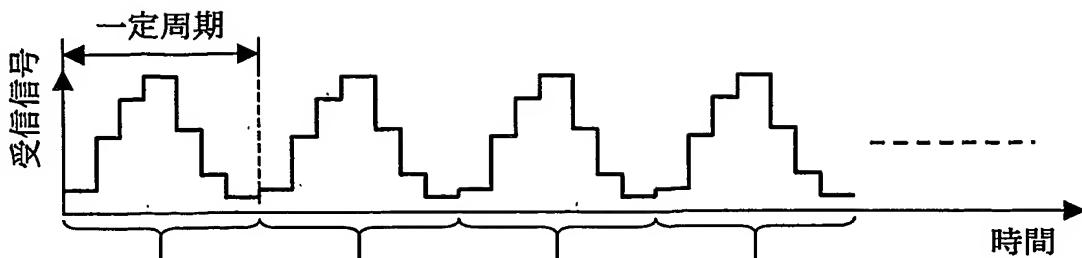
図 8



9/18

図 9

(A)受信信号



(B)周波数解析

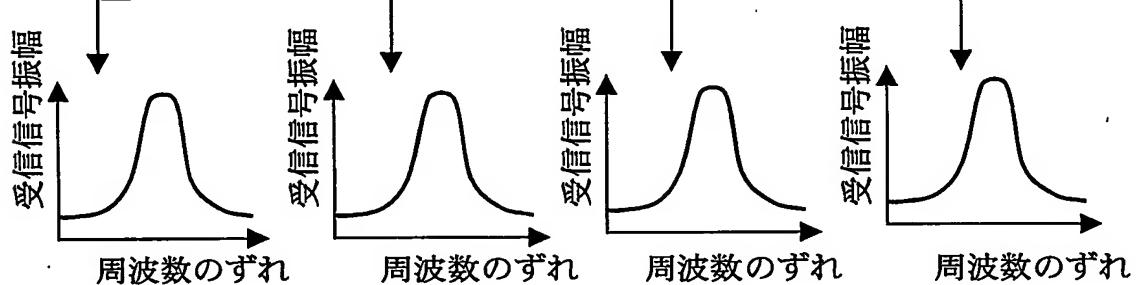


図10

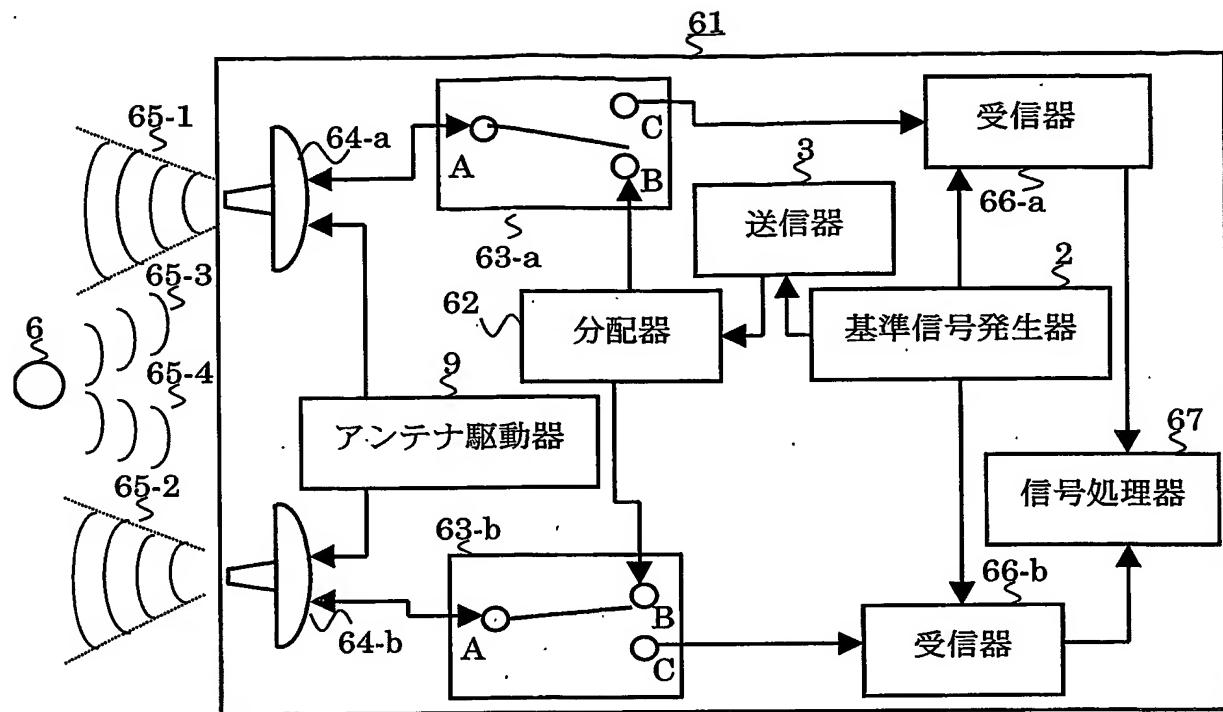
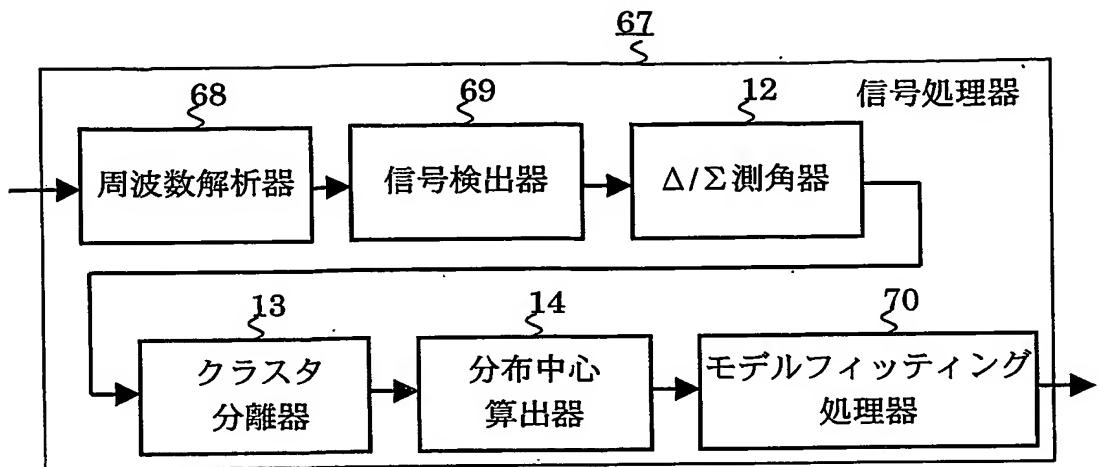
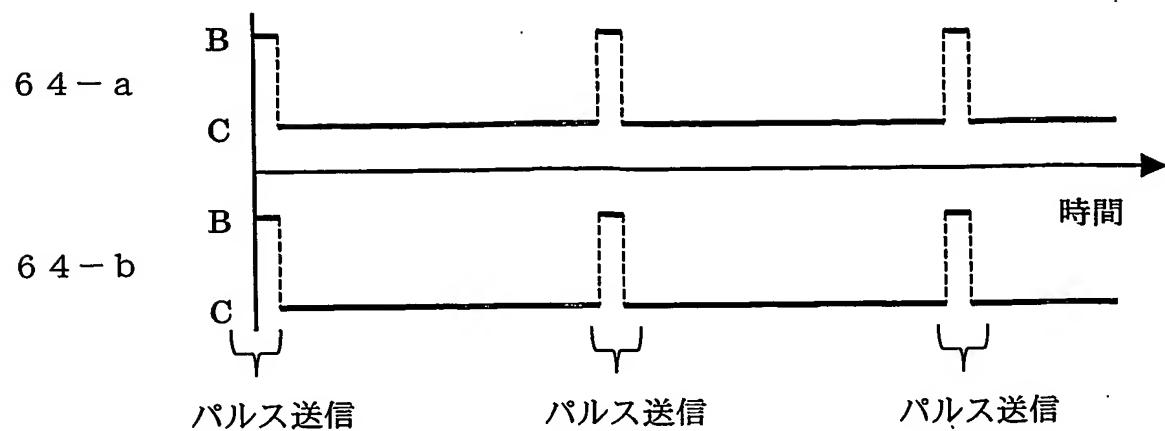


図 11



12/18

図12



13/18

図13

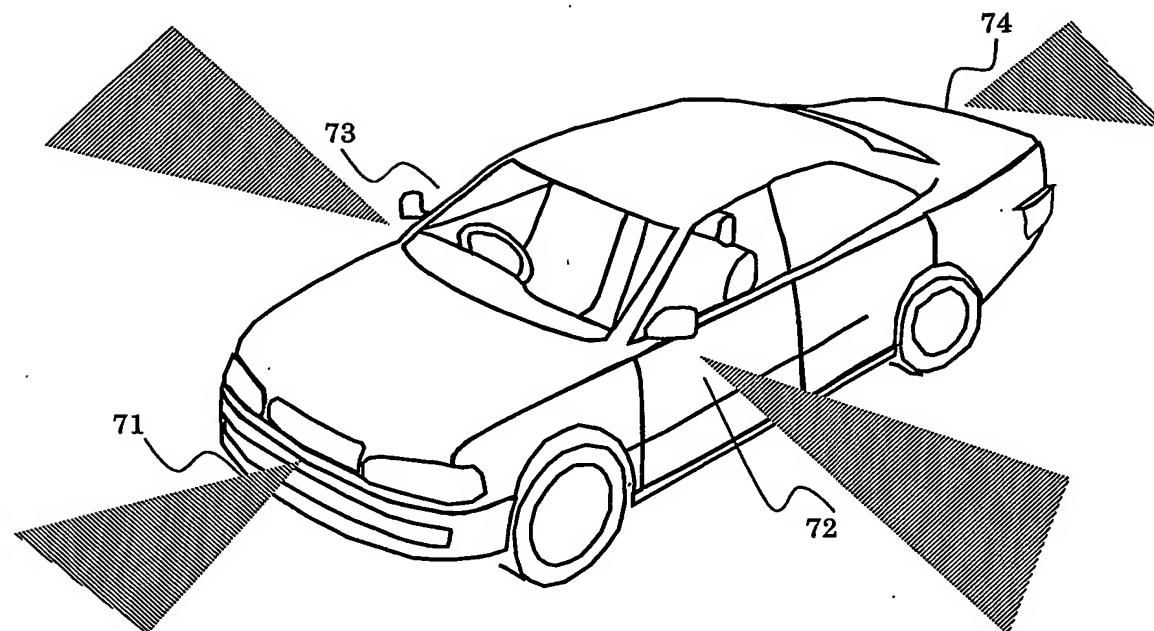
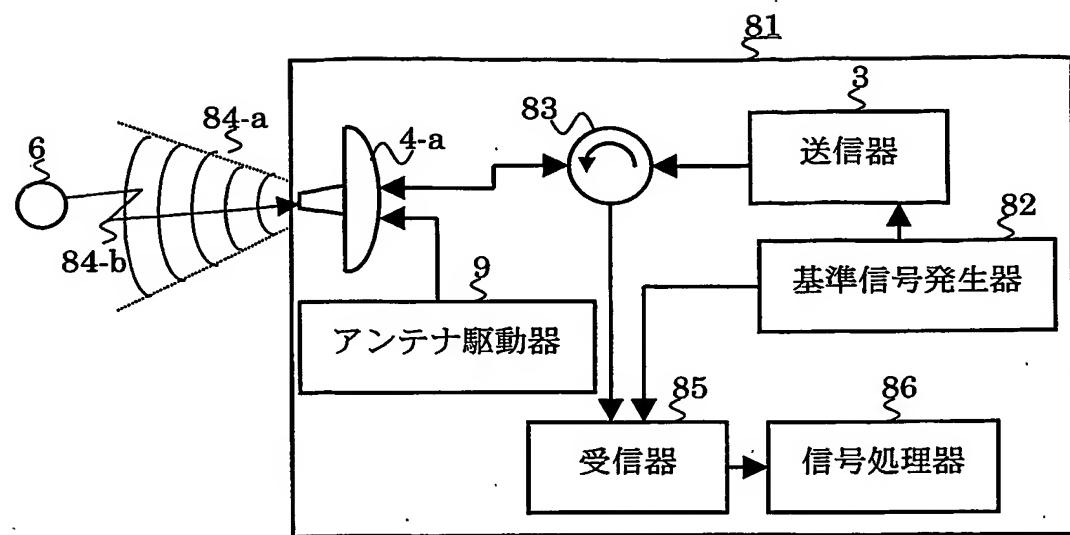


図14



15/18

図15

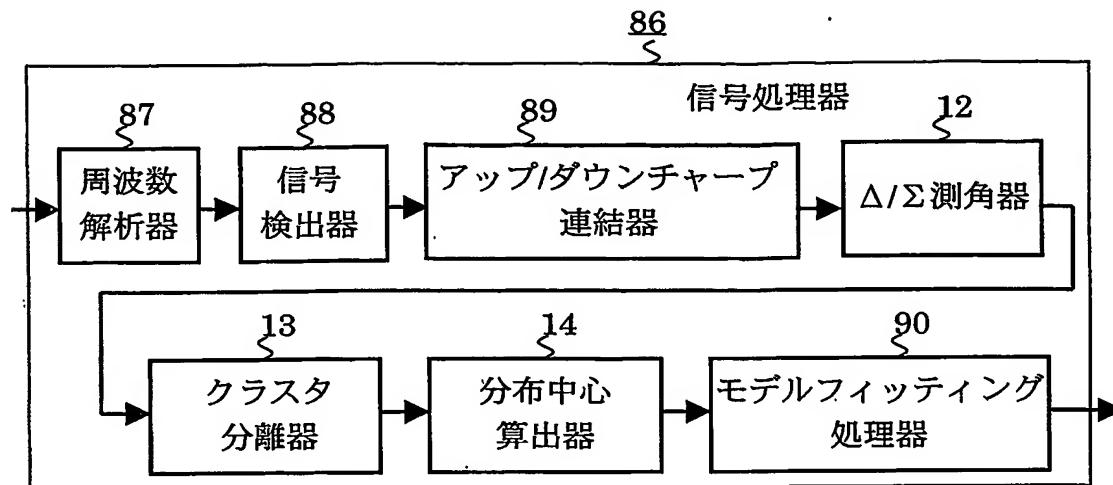
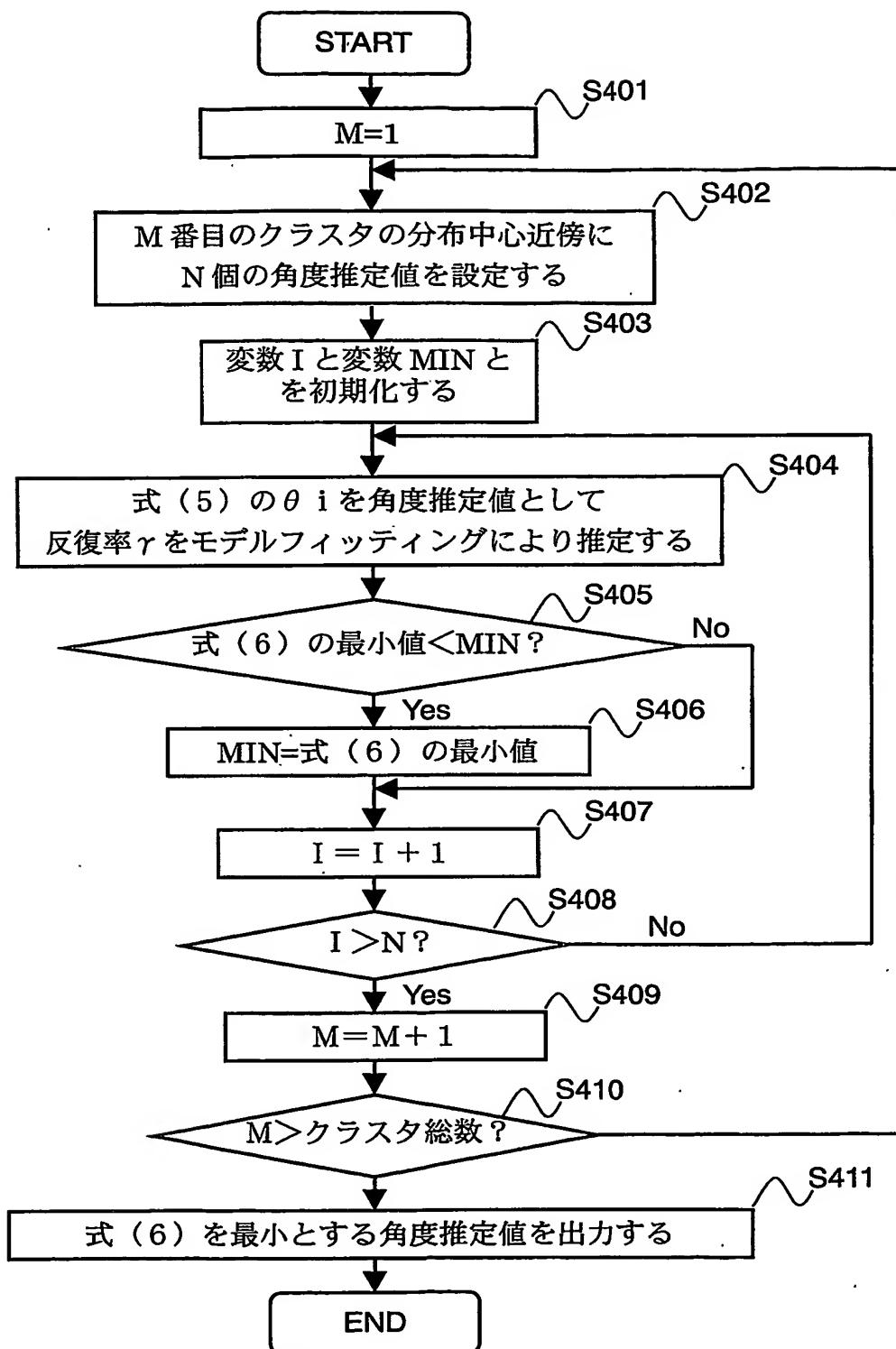
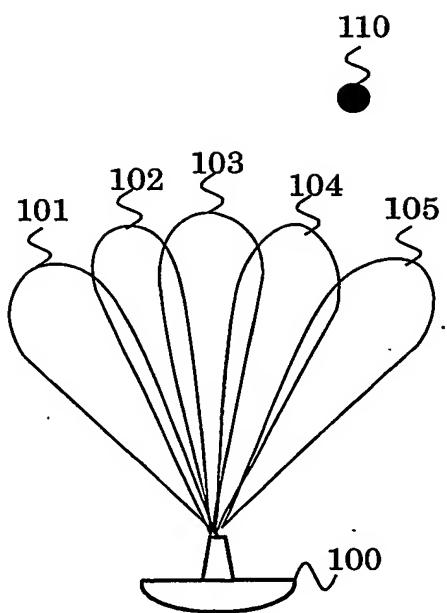


図16



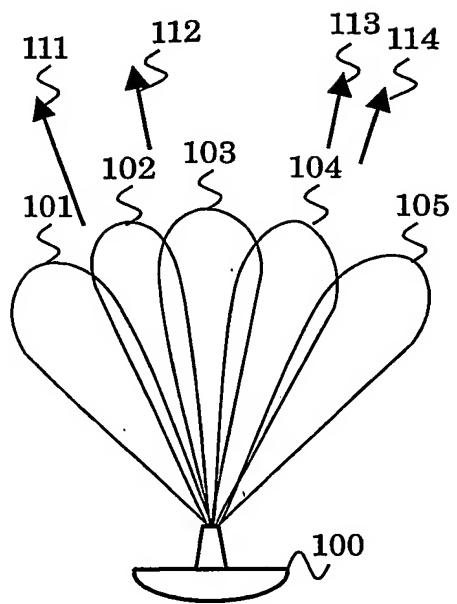
17/18

図17



18/18

図18



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11646

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G01S13/48, G01S7/295

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G01S13/48, G01S7/295

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5959571 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 28 September, 1999 (28.09.99), Full text; all drawings & WO 97/40400 A1 & DE 19780489 T	1-23
A	US 6229597 B1 (Honda Giken Kogyo Kabushiki Kaisha), 08 May, 2001 (08.05.01), Full text; all drawings & JP 2000-28718 A & DE 19932975 A	1-23
A	US 6204755 B1 (Honda Giken Kogyo Kabushiki Kaisha), 20 March, 2001 (20.03.01), Full text; all drawings & DE 19937185 A1 & JP 2000-56019 A	1-23

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
---	--

Date of the actual completion of the international search 09 October, 2003 (09.10.03)	Date of mailing of the international search report 28 October, 2003 (28.10.03)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/JP03/11646**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6249243 B1 (Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha), 19 June, 2001 (19.06.01), Full text; all drawings & DE 19959398 A1 & JP 2000-180540 A	1-23
A	EP 1094336 A2 (Honda Giken Kogyo Kabushiki Kaisha), 05 April, 2001 (05.04.01), Full text; all drawings & JP 2001-116833 A	1-23

A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(IPC))

Int C17 G01S 13/48, G01S 7/295

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))

Int C17 G01S 13/48, G01S 7/295

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	US 5959571 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.) 1999. 09. 28, 全文, 全図 & WO 97/40400 A1 & DE 19780489 T	1-23
A	US 6229597 B1 (Honda Giken Kogyo Kabushiki Kaisha) 2001. 05. 08, 全文, 全図 & JP 2000-28718 A & DE 19932975 A	1-23

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「I」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09. 10. 03

国際調査報告の発送日

28.10.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官(権限のある職員)

宮川 哲伸

2 S 9208

10

電話番号 03-3581-1101 内線 3256

C (続き) 関連すると認められる文献		関連する請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
A	US 6204755 B1 (Honda Giken Kogyo Kabushiki Kaisha) 2001. 03. 20, 全文, 全図 & DE 19937185 A1 & JP 2000-56019 A	1-23
A	US 6249243 B1 (Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha) 2001. 06. 19, 全文, 全図 & DE 19959398 A1 & JP 2000-180540 A	1-23
A	EP 1094336 A2 (Honda Giken Kogyo Kabushiki Kaisha) 2001. 04. 05, 全文, 全図 & JP 2001-116833 A	1-23